

Kinetika Adsorpsi Ion Logam Cu^{2+} Menggunakan Tricalciumphosphate sebagai Adsorben dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Temperatur

Mustika Canra¹⁾, Ahmad Fadli²⁾, Komalasari²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Mustikacanra@gmail.com

ABSTRACT

One of the heavy metals can pollute the waters is metal ions Cu^{2+} . The purposes of this research are to observe the effect of stirring rate and temperature on the adsorption of metal ions Cu^{2+} using adsorbents tricalciumphosphate (TCP) and determine a suitable adsorption kinetics model. The procedure was begun by adding 1 gram of TCP into Cu^{2+} solution with a concentration of 3 ppm at stirring speed of 100 rpm, 200 rpm, and 300 rpm and a temperature of 30°C, 40°C, and 50°C. Samples were taken every 2 minutes, filtered and analyzed by atomic absorption spectrophotometer (AAS). The result demonstrated that the suitable kinetic model for adsorption of metal ions Cu^{2+} using TCP adsorbent is pseudo-second order kinetic model with adsorption kinetics constant value of 3,125 g/mg.min. The increased the stirring rate and temperature increase adsorption rate. Type of this adsorption is physics adsorption with activation energy value of 25,016 kJ/mol.

Keywords: Adsorption kinetics model, the metal ion Cu^{2+} , tricalciumphosphate, stirring rate and temperature.

1. Pendahuluan

Keberadaan logam berat di lingkungan seperti tembaga (Cu^{2+}) merupakan masalah lingkungan yang perlu mendapat perhatian serius. Kandungan ion logam Cu^{2+} di dalam air berasal dari berbagai sumber, seperti batuan dan tanah, serta dari aktivitas manusia termasuk pembuangan limbah cair kemudian secara langsung dapat mencemari air permukaan. (Andarani, 2009). Konsentrasi yang aman bagi manusia tidak boleh lebih dari 1 ppm, jika melebihi batas aman tersebut sangat beracun pada sistem syaraf dan mempengaruhi kinerja ginjal (KEPMENKES No.907/MENKES/SK/VII/2002). Ion logam Cu^{2+} tidak dapat dihancurkan oleh mikroorganisme dan

dapat terakumulasi dalam tubuh manusia. Pada umumnya proses yang dilakukan untuk menangani limbah ion logam Cu^{2+} adalah dengan proses adsorpsi, pertukaran ion (*ion exchange*), pemisahan dengan membran dan pengendapan. Proses adsorpsi lebih banyak digunakan karena memiliki banyak keuntungan diantaranya bersifat ekonomis, tidak menimbulkan efek samping yang beracun dan sangat efektif untuk menyerap ion logam berat dibandingkan dengan proses lainnya. Secara umum proses adsorpsi diartikan sebagai proses penyerapan suatu zat lain baik secara fisika maupun secara kimia dan hanya terjadi pada permukaan zat tersebut (Erdem, 2004).

Penggunaan *tricalciumphosphate* (TCP) sebagai adsorben sudah diteliti oleh

beberapa peneliti. Ekasari (2013) melakukan penelitian penjerapan ion logam Cu^{2+} dengan menggunakan TCP sebagai adsorben. Waktu kesetimbangan tercapai pada waktu 2 jam dengan kecepatan pengadukan 300 rpm. Hasil penelitian membuktikan bahwa model kesetimbangan yang paling cocok adalah isoterm freundlich dengan panas adsorpsi yang diperoleh sebesar 3,163 kkal/mol.K.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model kinetika adsorpsi ion logam Cu^{2+} menggunakan partikel TCP sebagai adsorben dengan melihat pengaruh kecepatan pengadukan dan temperatur. Beberapa keunggulan *tricalciumphosphate* adalah ukuran partikel lebih kecil, harga relatif murah, mempunyai kestabilan kimia yang baik, dan densitas rendah.

Kinetika adsorpsi adalah suatu kajian yang digunakan untuk mengetahui tingkat kecepatan penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat. Ada beberapa model kinetika adsorpsi *solid liquid* yang umum digunakan, yaitu model kinetika orde satu semu (*pseudo first order*) dan orde dua semu (*pseudo second order*) (Yahaya dkk, 2011).

Orde Satu Semu (*Pseudo First Order*)

Order satu semu mengasumsikan bahwa konsentrasi adsorbat berlebih dibandingkan dengan bagian aktif yang tersedia pada permukaan adsorben, secara umum dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (Yahaya dkk, 2011):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (1)$$

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

Data $\ln (q_e - q_t)$ dan t diplotkan pada grafik diperoleh nilai k , $q_{e \text{ calc}}$ dan R^2 . Untuk mendapatkan nilai q_t digunakan persamaan berikut (Yahaya dkk, 2011):

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \quad (3)$$

Order Dua Semu (*Pseudo Second Order*)

Orde dua semu dikemukakan oleh Ho dan McKay (2000, diasumsikan bahwa kapasitas mengadsorpsi proporsional terhadap jumlah situs aktif dari adsorben, dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (4)$$

$$\frac{dq_t}{(q_e - q_t)^2} = k_2 dt \quad (5)$$

$$q_t = \frac{t}{(1/k_2 q_e^2) + (t/q_e)} \quad (6)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (7)$$

Data t/q_t dan t diplotkan pada grafik akan diperoleh nilai k , $q_{e \text{ cal}}$ dan R^2 . salah satu parameter yang digunakan yaitu nilai %SSE (*Sum of Error Squares*) yang bertujuan untuk mengukur selisih antara $q_{e \text{ exp}}$ terhadap $q_{e \text{ cal}}$ dengan menggunakan persamaan:

$$\%SSE = \sqrt{\frac{(q_{e \text{ exp}} - q_{e \text{ cal}})^2}{N}} \quad (8)$$

Secara umum faktor-faktor yang mempengaruhi konstanta laju adsorpsi adalah sebagai berikut:

1. Pengadukan

Pengaruh pengadukan terhadap laju adsorpsi dapat dilihat dari persamaan Webber berikut (Dotto dkk, 2011):

$$\frac{q_t}{q_e} = 6 \left(\frac{d_f}{\pi R^2} \right)^{0,5} t^{0,5} \quad (9)$$

2. Jumlah adsorben
3. Konsentrasi

4. Temperatur

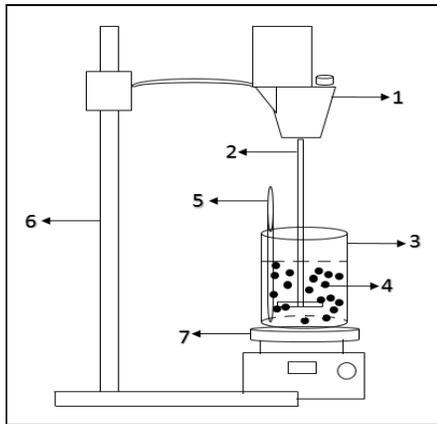
Hubungan antara temperature dengan laju adsorpsi dapat dilihat melalui persamaan berikut (Ho dan Augustin, 2006):

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (10)$$

2. Metode Penelitian

2.1 Alat

Alat yang digunakan adalah labu ukur, botol sampel, motor dan pengaduk, pipet volume, kertas saring, corong, termometer air raksa, *beaker glass*, pemanas, *stopwatch* dan alat uji AAS.



Gambar 2.1 Rangkaian Alat Penelitian

2.2 Bahan

Tembaga Sulfat ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) (Merck, Germany), aquades, dan TCP ($Ca_3(PO_4)_2$) (Lianyungang Kede Chemical Industry Co. Ltd, China).

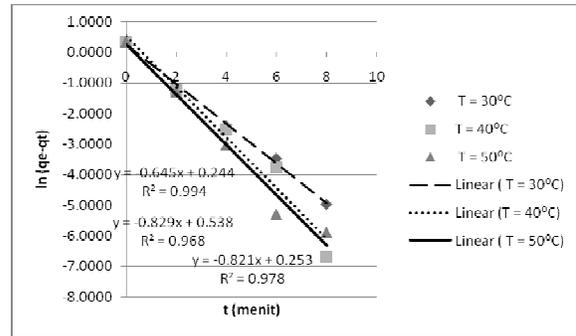
2.3 Prosedur Penelitian

Diawali dengan menambahkan 1 gram TCP ke dalam larutan Cu^{2+} konsentrasi 3 ppm pada kecepatan pengadukan 100 rpm, 200 rpm, dan 300 rpm dan temperatur $30^\circ C$, $40^\circ C$, dan $50^\circ C$. Sampel diambil tiap 2 menit sampai waktu setimbang kemudian disaring dan dianalisa dengan spektrofotometer serapan atom (AAS).

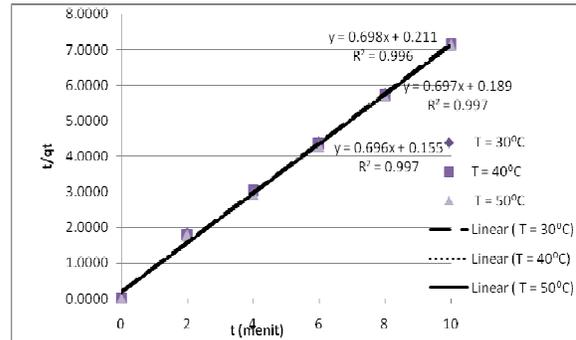
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Temperatur Terhadap Kinetika Adsorpsi

Temperatur yang digunakan yaitu $30^\circ C$, $40^\circ C$, dan $50^\circ C$. Pengaruh temperatur terhadap kinetika adsorpsi dapat dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2:



Gambar 3.1 Penyerapan Ion Logam Cu^{2+} Mengikuti Model Kinetika Order satu semu pada 300 rpm



Gambar 3.2 Penyerapan Ion Logam Cu^{2+} Mengikuti Model Kinetika Order Dua semu pada 300 rpm

Pada gambar 3.1 dan 3.2 diperoleh hasil nilai $q_{e \text{ exp}}$, k , dan R^2 untuk order satu semu dan order dua semu semakin meningkat dengan peningkatan temperatur diperoleh nilai k , R^2 , dan %SSE dapat dilihat pada table 3.1 dan 3.2:

Tabel 3.1 Parameter Model Order Satu Semu terhadap Pengaruh Temperatur

Model Kinetika Order Satu Semu			
T	300 rpm		
(°C)	k_1 (1/min)	R^2	%SSE
30	-0.645	0.994	0.0602
40	-0.829	0.968	0.1563
50	-0.821	0.978	0.0584

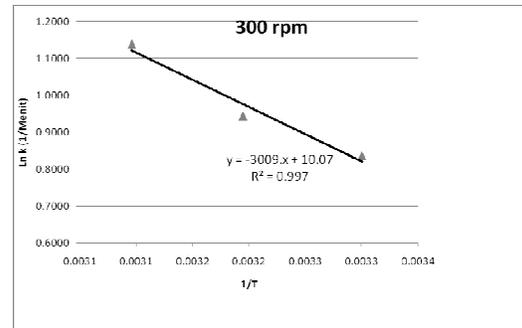
Tabel 3.2 Parameter Model Order dua Semu terhadap Pengaruh Temperatur

Model Kinetika Order Dua Semu			
T	300 rpm		
(°C)	k_2 (g/mg.min)	R	%SSE
30	2.309	0.996	0.0254
40	2.57	0.997	0.0246
50	3.125	0.997	0.0227

Dari tabel 3.1 dan 3.2 didapatkan model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi ion logam Cu^{2+} terhadap adsorben TCP adalah model kinetika adsorpsi order dua semu, dengan parameter nilai regresi linier (R^2) paling tinggi yaitu 0,997 dengan nilai %SSE paling rendah 0,0227 dan nilai konstanta kinetika adsorpsi 3,125 g/mg.min dapat dilihat pada suhu 50°C dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Untuk selanjutnya digunakan persamaan model kinetika order dua semu.

Nilai konstanta kecepatan adsorpsi yang terlihat pada tabel 3.2 semakin meningkat dengan kenaikan temperatur. Hal ini juga membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur maka konstanta laju adsorpsi akan semakin besar, dimana pada temperature yang lebih tinggi terjadi aktifasi sisi aktif permukaan adsorben dan peningkatan energi kinetik ion logam (Zakaria, 2011). Energi aktivasi (E_a) merupakan energi yang harus dimiliki oleh

molekul sehingga mampu bereaksi. Hanya molekul-molekul yang memiliki energi kinetik lebih besar dari energi aktivasi yang kemudian mampu membentuk kompleks dengan molekul yang lain. Energi aktivasi diperoleh dengan menggunakan persamaan Arrhenius. Hasil plot data antara $\ln k$ dengan $1/T$ (°K) dapat dilihat pada gambar 3.3

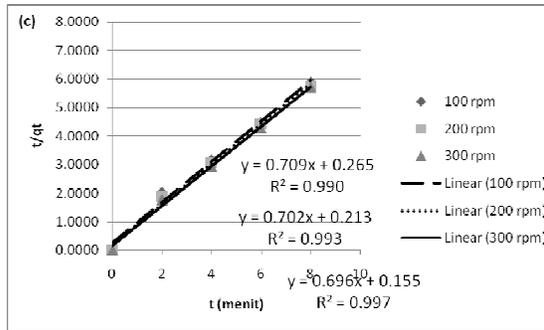


Gambar 3.3 Hubungan antara $\ln k$ (1/menit) terhadap $1/T$

Dari kurva pada gambar 3.3 diperoleh nilai slope ($-E_a/R$) pada nilai regresi linier paling tinggi (0,998) yaitu -3009. Nilai slope dikalikan dengan konstanta gas 8314 kJ/mol°K sehingga diperoleh nilai energi aktivasi sebesar 25,016 kJ/mol, dimana range energi aktivasi untuk adsorpsi fisika yaitu 5-40 kJ/mol (Ismadji, 2006) yang berarti proses adsorpsi ion logam Cu^{2+} dengan adsorben TCP termasuk adsorpsi fisika.

3.2 Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Kinetika Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan pada kecepatan pengadukan 300 rpm pada temperatur 30°C, 40°C, dan 50°C. Kinetika adsorpsi mengikuti model kinetika order dua semu, untuk melihat pengaruh kecepatan pengadukan terhadap konstanta laju adsorpsi penyerapan ion logam Cu^{2+} maka data t/q_t dan waktu (t) adsorpsi diplotkan pada grafik bisa dilihat pada gambar 3.4:



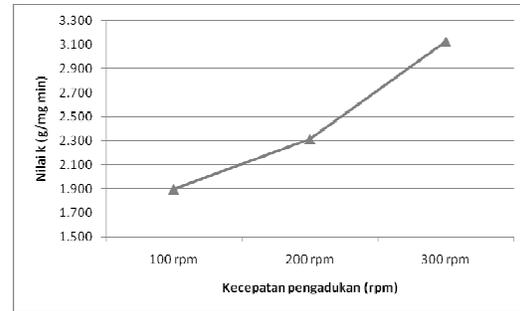
Gambar 3.4 Penyerapan Ion Logam Cu^{2+} Model Mengikuti Kinetika Order Dua Semu pada 50°C

Pada gambar 3.4 diperoleh nilai k , R^2 , dan %SSE dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Parameter Model Order dua Semu terhadap Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Model Kinetika Order Dua semu			
Kecepatan Pengadukan	Temperatur 50°C		
	K_2 (g/mg.min)	R^2	%SSE
100 rpm	1.897	0.99	0.0195
200 rpm	2.314	0.993	0.0219
300 rpm	3.125	0.997	0.0227

Dari tabel 3.3 diperoleh hasil nilai $q_{e \text{ exp}}$, k , dan R^2 untuk order dua semu semakin meningkat dengan peningkatan kecepatan pengadukan, dimana nilai $q_{e \text{ exp}}$ tertinggi yaitu 1.4047, nilai k yaitu 3.125, dan nilai R^2 yaitu 0.997 tampak pada temperatur 50°C pengadukan 300 rpm model kinetika order dua semu. Kenaikan nilai k bisa dilihat pada gambar 3.5:



Gambar 3.5 Kurva Peningkatan Nilai k terhadap Kecepatan Pengadukan

Penambahan nilai k terhadap kecepatan pengadukan disebabkan oleh semakin besar pengadukan akan menyebabkan lapisan film partikel adsorben semakin menipis sehingga proses difusi film semakin meningkat, hal ini akan membuat proses adsorpsi semakin cepat berlangsung dan akan meningkatkan nilai laju adsorpsi (k). Hal ini juga membuktikan bahwa nilai difusi film (df) akan semakin meningkat dengan peningkatan nilai q_e dan q_t dimana nilai q_e dan q_t digunakan untuk menentukan nilai k (Dotto, 2011).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan yaitu model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk proses penyerapan ion logam Cu^{2+} oleh *tricalciumphosphate* sebagai adsorben mengikuti model kinetika adsorpsi order dua semu dengan nilai regresi linier paling tinggi (R^2) yaitu 0.997 dengan nilai %SSE paling rendah 0.0227 dan konstanta kinetika adsorpsi 3.125 g/mg.min. Nilai konstanta laju adsorpsi ion logam Cu^{2+} dengan adsorben *tricalciumphosphate* paling tinggi terlihat pada proses adsorpsi kecepatan pengadukan 300 rpm dan temperatur 50°C yaitu 3,125 g/mg.min. Semakin tinggi kecepatan pengadukan dan temperatur maka nilai konstanta adsorpsi juga semakin tinggi. Besarnya energi aktivasi proses adsorpsi ion logam Cu^{2+} dengan adsorben *tricalciumphosphate*

yaitu sebesar 25,016 kJ/mol dan merupakan adsorpsi fisika.

5. Daftar Notasi

C_0	= Konsentrasi ion logam Cu^{2+} fase liquid mula-mula (mg/L)
C_t	= Konsentrasi ion logam Cu^{2+} fase liquid pada waktu t (mg/L)
k_1	= Konstanta laju adsorpsi model order satu semu (1/min)
k_2	= Konstanta laju adsorpsi model order dua semu (g/mg.min)
q_t	= Jumlah adsorbat yang terjerap pada waktu t (mg/g)
q_e	= Jumlah adsorbat yang terjerap pada waktu kesetimbangan (mg/g)
t	= Waktu (menit)
V	= Volume (L)
m	= Massa (gram)
SSE	= <i>Sum of Error Squares</i>
d_f	= Difusi film (m^2/min)
T	= Temperatur ($^{\circ}K$)
E_a	= Energi aktivasi (kJ/mol)

6. Daftar Pustaka

- Andarani, P., Dwina, Roosmini, 2009, *Profil Pencemaran Logam Berat (Cu, Cr, dan Zn) pada Air Permukaan dan Sedimen di Sekitar Industri Tekstil PT. X Sungai Cikijing*, Skripsi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
- Dotto, G.L., Pinto, L.A.A., 2011, *Adsorption of Food Dyes Acid Blue 9 and Food Yellow 3 onto Chitosan: Stirring Rate Affect in Kinetics and Mechanism*, School of Chemistry and Food, Federal University of Rio Grande, Brazil.
- Erdem, E., Karapinar, N., Donat, R., 2004, *The Removal Heavy Metal Cations by Natural Zeolites*, Journal of Colloid and Interface Science Department of Chemistry Engineering, Faculty of Engineering, Pamukkale University, Denizli, Turkey.
- Ekasari, E., 2013, *Model Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga (Cu) dengan Menggunakan TCP sebagai Adsorben*, Skripsi, Universitas Riau, Indonesia.
- Ho, Y.S., McKay, G., 2000, *The Kinetics of Sorption of Divalent Metal Ions onto Fly Spaghnum Moss Peat*, Department of Environmental Sciences, Peking University, Beijing, Peoples of Republic of China.
- Ho, Y.S., Agustine, E.O., 2006, *Kinetic Studies of Cooper Ion Adsorption on Palm Kernel Fibre*, Department of Environmental Sciences, Peking University, Beijing, Peoples of Republic of China.
- Ismadji, S., 2006, *Kesetimbangan dan Kinetika Adsorpsi Methylen Biru Karbon Aktif yang Terbuat dari Kulit Durian*, Jurusan Teknik Kimia, Unika Widya Mandala, Surabaya.
- KEPMENKES No. 907/MENKES/SK.VII, 2002, *Tentang Standar Baku Mutu Air Minum*, PERMENKES, Indonesia.
- Yahaya, N.K.E., Muhammad, F.P., Ismail, A., Olugbenga, S.B., Mohd, A.A., 2011, *Adsorptiv Removal of Cu (II) Using Activated Carbon Prepared From Rice Husk by $ZnCl_2$ Activation and Subsequent Gasification with CO_2* , School of Chemical Engineering University Sains Malaysia.
- Zakaria, A., 2011, *Adsorpsi Cu (II) Menggunakan Zeolit Sintetis dari Abu Terbang Batu Bara*, Tesis, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.